DU BULLETIN DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE
NCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES. SÉRIE *A*: SCIENCES MATHÉMATIQUES
MAI 1916

Die Szymbarker Erdrutschung und andere westgalizische Rutschungen des Jahres 1913

von

L. Sawicki

CRACOVIE
IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITE
1916

L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE A ÉTÉ FONDÉE EN 1873 PAR

S. M. L'EMPEREUR FRANÇOIS JOSEPH I.

PROTECTEUR DE L'ACADÉMIE:

Vacat.

VICE-PROTECTEUR:

Vacat.

PRÉSIDENT: S. E. M. LE COMTE STANISLAS TARNOWSKI.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL: M. BOLESLAS ULANOWSKI.

EXTRAIT DES STATUTS DE L'ACADÉMIE:

(§ 2). L'Académie est placée sous l'auguste patronage de Sa Majesté Impériale Royale Apostolique. Le Protecteur et le Vice-Protecteur sont nommés par S. M. l'Empereur.

(§ 4). L'Académie est divisée en trois classes:

a) Classe de Philologie,

b) Classe d'Histoire et de Philosophie,

c) Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles.

(§ 12). La langue officielle de l'Académie est la langue polonaise.

Depuis 1885, l'Académie publie le «Bulletin International» qui paraît tous les mois, sauf en août et septembre. Le Bulletin publié par les Classes de Philologie, d'Histoire et de Philosophie réunies, est consacré aux travaux de ces Classes. Le Bulletin publié par la Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles paraît en deux séries. La première est consacrée aux travaux sur les Mathématiques, l'Astronomie, la Physique, la Chimie, la Minéralogie, la Géologie etc. La seconde série contient les travaux qui se rapportent aux Sciences Biologiques.

Publié par l'Académie
sous la direction de M. Ladislas Kulczyński,
Secrétaire de la Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles.

25 września 1916.

Nakładem Akademii Umiejętności.

Kraków, 1916. — Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego pod zarządem Józefa Filipowskiego.

EXTRAIT DU BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE
CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES. SÉRIE A: SCIENCES MATHÉMATIQUES
MAI 1916

Die Szymbarker Erdrutschung und andere westgalizische Rutschungen des Jahres 1913

von

L. Sawicki

CRACOVIE
IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITÉ
1916

Osuwisko ziemne w Szymbarku i inne zsuwy, powstałe w roku 1913 w Zachodniej Galicyi. — Die Szymbarker Erdrutschung und andere westgalizische Rutschungen des Jahres 1913.

Mémoire

de M. **L. SAWICKI**,

présenté, dans la séance du 1 Mai 1916, par M. M. Rudzki m. c.

(Planches 5 et 6).

1) **Einleitung.** — Unter den morphologischen Prozessen, welche das Landschaftsbild der Flyschkarpaten modellieren, spielen — wie dies jedem Karpatenforscher wohl bekannt ist — lebhafte, oftmals verheerend wirkende Bewegungen des Verwitterungsschuttes, also Erdrutschungen, eine bedeutsame Rolle. Umso mehr wunder nimmt es, daß die Literatur über die karpatischen „Franen“ sich fast ausnahmslos [1]) auf gelegentliche kurze Bemerkungen beschränkt, so daß wir nicht nur über die Verbreitung, Erscheinungsformen, Dimensionen und Häufigkeit dieser Vorgänge im ganzen Gebirgsbogen noch nicht unterrichtet sind, sondern nicht einmal eingehende Monographien einzelner, besonders markanter Erdrutschungen besitzen. Diese Lücke ist umso bedauerlicher, als gerade in der letzten Zeit die Prozesse des „Kriechens“, des „Erdflusses“ und ähnlicher, hieher gehöriger Erscheinungen lebhaft in der ganzen wissenschaftlichen Welt diskutiert werden.

Als nun im Frühjahr 1913 an drei Stellen in Westgalizien (in Szymbark bei Gorlice, in Grabówka bei Brzozów und endlich bei Muszyna) katastrophale Erdrutschungen niedergegangen waren, benützte ich gern die Gelegenheit, durch eingehende mono-

[1]) Bezüglich aller Literaturangaben sowie näheren Details, auch Zeichnungen und Abbildungen verweise ich ein für allemal auf die ausführliche polnische Originalarbeit.

graphische Beschreibung dieser Rutschungen einen ersten Beitrag zur Ausfüllung der oberwähnten Lücke zu liefern. Im Anschluß daran versuchte ich, gestützt auf die hiebei gewonnenen Erfahrungen sowie auf meine genauere Kenntnis des Karpatengebirges einige Verallgemeinerungen zu ziehen und dadurch gleichsam den Rahmen für weitere Forschungen über diese Erscheinungen zu gewinnen.

2) **Die Erdrutschung bei Szymbark - ihre morphologischen, petrographischen und hydrographischen Vorbedingungen.** — Die Rutschung bei Szymbark ging in einem kleinen Nebentälchen (Śklarki) des Ropaflusses vor sich, das ein wenig oberhalb der Siedlung Szymbark linksseitig mündet. Mit seinen Quelltrichtern, die in die Flanken des Maślana- (747 m) und Jeleniaberges (686 m) eingenagt sind, greift das Tälchen in die steilgeböschte, jugendlich geformte Berglandschaft der harten, herauspräparierten Flyschrücken ein, wie sie für die hohen Beskiden Mittel- und Ostgaliziens so kennzeichnend sind. Seinen Unterlauf begleiten die sanfteren Hänge der intrabeskidischen Terrassenlandschaft, die genetisch und morphologisch mit der Fastebene des karpatischen Hügellandes im Zusammenhang stehend, längs aller größeren Flüsse tief in das beskidische Bergland eingreifen.

Das Śklarkitälchen reicht mit seinen Quelltrichtern, die sich oberhalb 600 m verzweigen, bis an 700 m heran und umfaßt drei Hauptarme (α, β, γ) (siehe Kärtchen Taf. 5), aus denen auch die drei Quellströme der Rutschung ihren Anfang nahmen. Diese drei Arme verbinden sich zu einem 2 km langen Erdstrom, der mit steiler Stirn nicht weit von der Mündung des Śklarkitälchens endet. Für die Bildung und den Verlauf der Rutschung sind vor allem maßgebend: 1) die Gefällsverhältnisse, 2) die geologische und petrographische Zusammensetzung des Untergrundes und der Verwitterungsrinde und 3) die Durchfeuchtung der Erdmasse. Was den ersten Punkt anbelangt, so ist besonders zu betonen, daß im Gegensatz zum Haupttal der Ropa das Gefälle des Nebentälchens des Śklarkibaches als sehr steil bezeichnet werden muß, es beträgt nämlich das mittlere Gefälle des Talbodens 142‰, das der Gehänge 250—300‰. Der Talboden selbst weist eine Reihe von Schwellen und flachen Talstücken auf, so daß selbst die sanftest geneigten Teile des Tälchens 3—5° Gefälle haben, die Gegenden, von denen der Impuls der Bewegung ausging, sogar 15—30°.

Über den geologischen Bau der nächsten Umgebung sind wir noch recht schlecht unterrichtet. Die geologische Karte verzeichnet hier verschiedene obereozäne und oligozäne Flyschsandsteine und Schiefer, deren genaues Alter, Lagerung und Verbreitung jedoch noch nicht im Detail festgestellt sind. Dagegen ist die Verwitterungsrinde hier überall sehr mächtig entwickelt; ihre Mächtigkeit reicht bis 8 und selbst 10 m heran, ist aber sehr ungleichmäßig; häufig läßt sich auch eine Schichtung des Materials, hervorgerufen durch Kriechprozesse, beobachten. Die Rutschung hat nirgends die feste Felsunterlage angegriffen, sondern blieb überall im Verwitterungsmantel. Nur an bedeutenderen Randklüften und an den drei Talstufen kommt unter dem Verwitterungsschutt die Felsunterlage hervor, aber der hier anstehende, feingebänderte, leicht zerfallende Mergelschiefer weist keine größere Konsistenz auf als die Verwitterungsmasse selbst. Dieser mächtige Verwitterungsmantel entstand einerseits durch ortständige Verwitterung der feinkörnigen und feingeschichteten Sandsteine und besonders der Mergelschiefer, Tonschiefer und bunten Schiefer, die in den wenigen Aufschlüssen des Śklarkitälchens festzustellen sind; andererseits auch aus angewehten Lehmen und Tonen nordischer Herkunft, die von den postglazialen Steppenwinden bis tief in die Beskiden hineingetragen wurden. Die innere Konsistenz dieser ganzen Masse ist sehr gering: die zahllosen Schichtungs- und Bruchflächen sowie die dynamischen und Erosionsklüfte verlaufen teils zur stratigraphischen, teils zur morphologischen Oberfläche parallel, queren sie aber auch, wenn sie nämlich durch tektonische und Verwitterungsvorgänge entstanden sind. Jedenfalls erfahren sie durch das in ihnen zirkulierende Grundwasser eine Erweiterung, so daß hiedurch die Beweglichkeit der Schuttmasse bedeutend erhöht wird. Die brekzienartige Natur der Rutschungsmasse und die hygroskopischen Tonbeimengungen, die wie das Wasser selbst als Zement wirken, machen die ganze Masse plastisch und bis zu einem gewissen Grade dem Gletschereise ähnlich.

Das Grund- und Sickerwasser, das bei der Szymbarker Rutschung eine sehr bedeutende Rolle spielte, ist jederzeit im Verwitterungsschutt in großen Mengen vorhanden: handelt es sich doch um undurchlässige Tonschichten, die überdies hygroskopisch sind und sich daher mit Wasser füllen, anschwellen und schwer werden. In jeder Kluft stand bis zum Spätherbst 1913 hoch das Was-

ser und bildete vielfach auf der Oberfläche Seen und Wasserlachen, von denen 24 kartographisch aufgenommen wurden und deren größter 2400 m² mißt. Das Wasser belastet übrigens nicht nur die ohnehin zur Rutschung neigenden Massen durch sein Eigengewicht, sondern dient gleichzeitig als Schmiermittel in den tektonischen, Schichtungs- und dynamischen Klüften, so daß entlang dieser Klüfte eine Ortsveränderung der Bestandteile des Verwitterungsschuttes außerordentlich erleichtert wird. Im Sommer 1913 gingen nach einem trockenen Juli, der ein Austrocknen und Rissigwerden der Lehmmasse verursachte, im August ungeheure Wassermassen in Form von Platz- und Landregen nieder, die durch Beschwerung der ohnehin in labilem Gleichgewicht befindlichen Erdmassen und durch Verminderung der Reibungswiderstände die Hauptursachen des ganzen Rutschungsprozesses wurden.

3) **Morphologie des Erdrutsches von Szymbark.** — Wie erwähnt, nahm die Erdrutschung von Szymbark an drei Stellen ihren Anfang: die Abrißnische α unterhalb der Maślana Góra mißt 300 × 120 m maximaler Länge und Breite und 0·75 ha Fläche, die Abrißnische β unter der Jelenia Góra, die längste (350 m) und breiteste (220 m), umfaßt 6·5 ha, die seitliche Abrißnische γ war die kürzeste (260 m), wenn auch nicht die schmälste (150 m), und umfast 3·5 ha. Aus der Verbindung der diesen drei Abrißnischen entströmenden Massen entstand der eigentliche Rutschungskörper, ein Erdstrom, bei der ersten Aufnahme 1785 m lang (gemessen in der Rutschungsachse), der später auf 1970 m Länge anwuchs. Die vom Erdrutsch bedeckte Fläche beträgt 42·8 ha, wovon 11 ha auf das Abrißgebiet entfallen und ungefähr 26 ha auf die Akkumulationsfläche. Da verschiedenartige Beobachtungen übereinstimmend etwa 8 m als die mittlere Mächtigkeit des Erdstromes ergaben, so ergriff derselbe eine Masse Verwitterungsschuttes von etwa 3,424.000 m³.

Die Abgrenzung des Rutschungskörpers von der unberührt gebliebenen Umgebung unterliegt nirgends größeren Schwierigkeiten. Im Abrißgebiet ist die Randkluft, im Ablagerungsgebiet der Randwall scharf und prägnant überall ausgebildet [1]). Allerdings griff die Bodenbewegung noch über die Randklüfte der Rutschung

[1]) Die Randkluft hat so manchen Baum gespalten, ein Beweis für die Schärfe der Grenze der bewegten Fläche gegen die unberührte.

hinaus, wie dies aus zahlreichen Dilatationsklüften, die noch 100—200 m über die periphere Randkluft hinaus zu verfolgen waren, und aus kesselartigen Einsenkungserscheinungen, die durch Ausgleiten und Ausquetschen der tonigen Unterlage gegen die Randkluft hin entstanden, klar zu ersehen war. Im Verlauf der eigentlichen peripheren Randkluft lassen sich deutlich die oberen und die seitlichen Randklüfte unterscheiden. An der oberen Randkluft geht die Bewegung der rutschenden Masse zentripetal vor sich und daher kennzeichnet sie ein halbkreisförmiger oder halbelliptischer Verlauf; sie hat überall eine rauhe Bruchfläche, an der ohne Unterbrechung Kriech- und Abrißprozesse vor sich gehen. An der seitlichen Randkluft dagegen geht die Bewegung parallel zur Achse des Rutschungskörpers vor sich, ihr Verlauf ist geradlinig und die bewegte Erde scheuert das unbewegte Gehänge, erzeugt hier Striemen und wie Spiegel blinkende Harnische, Cleavageflächen und dynamische Schichtung. An zahlreichen Stellen konnten bis 10 m lange, gestriemte Lehmspiegel und bis zu 20 cm tief reichende dynamische Schichtung beobachtet werden. Auch die Höhenverhältnisse kennzeichnen diese zwei Typen: die rückwärtige Randkluft ist im allgemeinen relativ niedrig (1—3, selbst 5 m) und von gleichbleibender Höhe; an der seitlichen Randkluft ändern sich die Höhenverhältnisse rasch, erreichen aber bedeutende Maxima, 10, selbst 20 m, und können sogar (besonders an der äußeren Seite von Talkrümmungen) mit Überschiebung bis zu 4 m Höhe abwechseln. Entlang dieser seitlichen Randkluft konnte der Abbruch größerer Erdschollen (150 × 50 × 12 m) und die Entstehung „tektonischer“ Gräben sowie die Bildung von Hängetälern durch Abbruch der unteren Talstücke von Nebentälern mit allen Folgeerscheinungen (Stufenmündung, Klammbildung) beobachtet werden.

An einer besonders bemerkenswerten Stelle des Jeleniaer Abrißgebietes konnte ich feststellen, daß die hier 400 m lange, bis zu 20 m hohe, ein prachtvolles „défilé“ bildende Randkluft entstanden ist durch das Zusammenfallen der frischen, aus dem Jahre 1913 stammenden Randkluft mit einer älteren, die während eines viel früheren, an derselben Stelle niedergegangen Erdrutsches gebildet worden war. Außer dieser kombinierten und verjüngten Randkluft sprechen für den älteren Szymbarker Rutsch eine ausgesprochene alte Tomalandschaft, die sich an den Hängen zwischen der

Maślana und Jelenia Góra erhalten hat und die Überreste von nun schon verkohlten Baumstämmen, die durch den alten Erdrutsch ganz ähnlich wie die heutigen Wälder verschleppt wurden. Die Verbreitung dieser Baumstämme ergab, daß dieser alte Erdrutsch sicher 1150 m lang war (davon entfallen etwa 500 m auf das Abrißgebiet) und eine ebenso verheerende Wirkung haben mußte wie der Bergrutsch des Jahres 1913. Jedenfalls ersehen wir daraus, daß das Śklarkitälchen eine besondere Prädisposition zur Bildung von Erdrutschen aufweist.

Innerhalb der Randklüfte setzt das Rutschungsmaterial im Abrißgebiet an zahllosen Staffeln (ich zählte in einem Querschnitt bis zu 150) ab, deren jede Niveauveränderungen zur Folge hatte, so daß örtlich eine Erniedrigung der ursprünglichen morphologischen Oberfläche durch den Rutschungsprozeß bis zu 15 m verursacht wurde. Neben dem vertikalen Absitzen, das die Ausbildung amphitheatraler, zur Randkluft parallel laufender Kluftsysteme zur Folge hatte, spielt auch ein horizontales Abrutschen hier eine große Rolle und ruft im obersten Abrißgebiete die Ausbildung einer den Dimensionen des Abrißgebietes proportionalen Wunde im Schuttmantel hervor, die aber auch zur Entstehung wahrer Hexenkessel führen kann. Eine dritte Gruppe von Erscheinungen hängt mit dem seitlichen Druck zusammen, der sich schon in den Abrißnischen dort feststellen läßt, wo eine Verengung derselben stattfindet, oder wo mehrere benachbarte Erdströme sich miteinander vereinigen. An all diesen Stellen bemerkte ich auf dem Szymbarker Erdrutsch zahlreiche Stauungserscheinungen: einige Meter hohe Längswälle, bestehend aus dem Rutschungsmaterial und dazwischen wasserlose oder wassererfüllte Becken als echt „interkolline“ Bildungen. Speziell an der Vereinigung der beiden Hauptarme α und β findet man eine ganze Reihe von derartigen Formen, darunter eine ganze Seenkette, welche auch den größten, auf dem Erdrutsch entstandenen „See“ von 100 m Länge, bis 35 m Breite und 2400 m² Fläche umfaßt.

Nach der Vereinigung der Quellströme gewinnt in der Rutschung die gleitende Bewegung die Oberhand über das Absitzen. In den Verengungen des Talbodens gebildete Längswälle und Längsfurchen wechseln ab mit longitudinalen Dilatationsklüften, die sich unverzüglich einstellen, sobald das Talbett sich verbreitert. In letzterem Falle gewinnt der Erdstrom das Aussehen eines Erd-

fächers, der nach allen Seiten zentrifugal abfällt, und zwar längs konzentrischer Systeme von Querklüften. Das Absitzen des Rutschungsmaterials erinnert dabei lebhaft an die Serraks der alpinen Gletscher.

Das eigentliche Einzugsgebiet der Rutschung wird von dem Ablagerungsgebiet durch eine Enge des Šklarkitales getrennt, in welcher sich zwei von den schon oben erwähnten Talstufen befinden. An ihnen bricht die ganze Rutschungsmasse plötzlich in 20 m hohen Wänden ab, wobei durch die intensive Bewegung nicht nur Tone und weiche Schiefer, sondern selbst in die Rutschungsmasse eingepackte Sandsteine geschrammt wurden. Der Kessel am Fuß des Abbruches, erfüllt von unüberschreitbaren Schlammmassen, weist die merkwürdigste und komplizierteste Hydrographie auf, die man sich denken kann, ein Gewirr von kleinen Seetümpeln und reichlich verästelten Bächen. Am Fuße des Abbruches entspringt auch eine Reihe von Schichtquellen, die wohl mit eine Ursache des an dieser Stelle lokal gesteigerten Rutschungsprozesses sein konnten. Aber die Hauptursache desselben waren wohl die schon präexistenten Talstufen, die fast genau in der Mitte des Talbodens gelegen, die ersten Rutschungsbewegungen hervorgerufen haben mögen. Die Bewegung griff dann durch Nachsacken bergwärts gegen das Quellgebiet des Tales vor; gleichzeitig begann sich eine Zunge zu bilden, die sich talabwärts vorschob und deren Geschwindigkeit durch die Verengung des Talbodens genau an der Stelle der besprochenen Stufen vergrößert werden mußte. An diesem bezeichnenden, morphologisch und hydrographisch prädisponierten Punkt des Szymbarker Rutsches dürfte also der Beginn der Rutschbewegung anzusetzen sein: hier wurde die ursprüngliche Oberfläche am stärksten deformiert und die ursprüngliche Vegetation am gründlichsten vernichtet. Als die Bewegung des Erdstromes hier ihr Maximum erreicht hatte, war der Talboden um einige Meter höher als nach dem Aufhören der Bewegung mit Erdmassen erfüllt, die sogar an den Flanken des Tales in Form von Erdwällen aufgepreßt wurden. Sie sind nun außerhalb des eigentlichen Rutschungsgebietes im Wald als Zeugen der ungeheuren Gewalt des Erdstromes liegen geblieben.

Diese aufgeschobenen Erdwälle sind das erste Beispiel einer intensiveren Akkumulation auf dem Szymbarker Erdrutsch; noch hat dieselbe nicht die Oberhand über die Ablation

gewonnen, noch finden wir knapp unterhalb der Talstufen mächtige Pressungserscheinungen, Schliffe und Schrammen, Druckschichtung und Längswälle, hervorgerufen durch transversalen Druck. Aber in dem Augenblick, wo der Erdstrom die Talenge bei den Stufen verläßt, trägt, wie dies mächtige longitudinale Dilatationsklüfte beweisen, die Akkumulation den Sieg davon. Wir stehen an der Grenze zwischen dem Ober- und dem Unterlauf, an einer Grenzlinie, welche außerordentlich ähnlich ist der Firnlinie der alpinen Gletscher; dort wie hier hebt sich unterhalb dieser Linie der Strömungskörper als etwas Aufgesetztes scharf mittels der Randwälle von der Umgebung ab. Diese Randwälle umfassen die Zunge des Erdrutsches ganz ähnlich wie die Moränen die Gletscherzunge und überragen die Umgebung um etwa 3—5 m, indem sie gegen die Talflanken mit steilem Abfall grenzen. In diesen Randwällen wurde das Rutschungsmaterial außerordentlich stark durchmischt, so daß grobes und feines Material regellos nebeneinander zu liegen kommt. Die Randwälle erscheinen überall durchschnitten von zahllosen Klüften, die verschiedenen Systemen angehören und bewirken, daß das Material der Randwälle lauter kleine Schollen bildet, die sich leicht gegeneinander verschieben. Wo die Bewegung der Randwälle durch übergroße Reibung erschwert wurde, da ist ihr Verlauf geradlinig, und die Randklüfte, welche sie durchschneiden, sind schief nach vorn und erdstromendwärts gerichtet. Wo ihrem Andringen eine Terrainmulde nachgab, da zweigt sich vom Erdstrom ein Lappen ab, der in Form einer leicht angedeuteten Transfluenz vom Hauptstrom abweicht. Die Aufschiebung der Randwälle auf nachbarliche Talgehänge hatte hier übrigens eine interessante Faltung des durch Wiesenrasen zusammengehaltenen Erdbodens zur Folge. Diese Erdfalten erreichten bis $^1/_2$ m Höhe und 10—15 m Länge.

Die eigentliche Rutschungszunge zeichnet sich vor allem aus durch eine ausgezeichnete zonale Bänderung, die sowohl morphologisch als auch petrographisch zum Ausdruck kommt. Auf die beiderseitigen Randwälle folgt gegen innen zu je ein noch stark gequetschter Streifen mit über- und untereinander geschobenen Erdschollen und schief gestellten Bäumen, während der mittlere Teil der Rutschung eine verhältnismäßig ruhige Oberfläche aufweist, auf der ganze Hütten, Gärten und Parzellen fast ungestört abrutschten. Unabhängig von dieser morphologischen Bänderung der

Zunge des Erdrutsches ist die petrographische Bänderung: da das Material des Erdrutsches aus drei verschieden gefärbten Quellgebieten kommt (das Abrißgebiet α hat überwiegend grüngrauen, aus Schiefer hervorgegangenen Verwitterungsschutt, β vorwiegend gelbe Lehme, γ aber rote Lehme, die aus bunten Tonen entstanden sind), so fließen die drei verschieden gefärbten Erdströme, nur wenig sich vermengend, nebeneinander fast bis zur Stirn der Zunge und bieten dasselbe schöne Schauspiel, das an der Mündung verschieden gefärbter Ströme beobachtet werden kann.

Bevor die Zunge des Szymbarker Erdrutsches sich verschmälert und der Stirn nähert, empfängt sie von der linken Seite einen kurzen, aber sehr energischen Zufluß aus dem Abrißgebiet γ, welches durch mächtigen Anprall des auf stark geneigtem Gehänge abfließenden Erdstroms bedeutend übertieft und ausgeräumt wurde. Mächtiger und klarer als selbst beim Hauptstrom sind hier die verschiedenartigsten Erscheinungen ausgebildet, angefangen von den rückwärtigen und seitlichen Randklüften, den verschiedenen amphitheatralischen, longitudinalen, transversalen und zur Rutschungsachse schiefgestellten Kluftsystemen, den Druck-, Aufpressungs- und Überschiebungserscheinungen, den glänzenden Gesteinsspiegeln und Harnischen, der Druckschichtung und Schuppung, der Schollenbildung, der Modellierung einer interkollinen Beckenlandschaft, Seenbildung etc. Besondere Aufmerksamkeit verdient hier einerseits das Verhältnis zwischen dem Rutschungsgebiet und der Verbreitung des Waldes (die Randkluft hält sich größtenteils an die Waldgrenze, woraus der Einfluß des Waldes auf seichte Rutschungen klar hervorgeht), andrerseits die wahrscheinlich durch den Rutschungsprozeß hervorgerufene Aufblähung eines Hügels (eine Art „bombement, warping"), an dessen Abhang der Rasen in Falten gelegt wurde und dessen Wölbung einen ziemlich bedeutenden See (60 $\times$ 19 m) abdämmt.

Der Anprall dieses Seitenstromes γ bei der Mündung in den Hauptstrom war so groß, daß er eine Reihe von Stauungserscheinungen und besonders auch eine Art schwachen Wirbel in der Bewegung der Erdmassen erzeugte, von dem noch die Rede sein wird bei der Besprechung der Dynamik des Erdrutsches. Die Deformation der ursprünglichen Erdoberfläche war hier wohl sehr bedeutend. Inmitten des Talbodens wurden Längswälle von 150—200 m Länge und bis zu 6 m Höhe aufgepreßt; ursprünglich hori-

zontale Flächen, wie die Böden von 8 Bauerhütten, die hier standen, wurden schiefgestellt (bis zu 30°) und gleichzeitig emporgewölbt.

Die Erdmassen, welche der Arm γ zuführt, waren der letzte Zuschuß, den der Szymbarker Erdstrom erhielt; bald unterhalb der Mündung des Nebenarmes verschmälert sich die Zunge bedeutend und bei der Verengerung des Talbodens, bei den untersten Talstufen bildet sich infolge erschwerten Abflusses ein großes Akkumulationsfeld (10—12 m mächtig). Hier beginnt die eigentliche Stirn des Erdrutsches, die in ihrem Aussehen einem Gletscherende außerordentlich gleicht (z. B. der Löwentatze des Rhonegletschers). Auf der Talstufe fällt sie noch in Form eines Erdkataraktes[1]) an Querspalten ab, breitet sich dann fächerförmig aus und zerfällt an zentrifugalen Längsspalten in strahlenförmig angeordnete Erdstreifen. Das Stirnende des Szymbarker Erdstromes, das noch anfangs Oktober 1913 am Fuße der letzterwähnten Talstufe endete, schob sich mit der Zeit (bis 15. XI., wo der Strom vollständig still stand) noch zirka 200 m vor in einer schmalen Zunge von stark mit Wasser durchweichtem Material; diese Zunge von 20—30 m Breite und 1—3 m Mächtigkeit endet schließlich mit kleiner, aber steiler Stirn, unter und neben der die Wasser, welche der Erdmasse entströmten, sich miteinander vereinigten und ein bescheidenes, aber lange dauerndes Hochwasser im Śklarki-Bach verursachten.

4) **Die Dynamik des Szymbarker Erdrutsches** (Siehe Taf. 6). — Die erste Bewegung des Szymbarker Rutsches fand höchstwahrscheinlich gegen Ende August 1913, u. zw. ungefähr in der Mitte des Rutschterrains statt, von wo sie dann rasch aufwärts weitergriff. Aber mit Sicherheit konnte dies nicht festgestellt werden, denn die Gegend, wo die Rutschung einsetzte, stellt schon eine Subökumene dar, die nur gelegentlich von Waldleuten und Förstern aufgesucht wird. Ich erfuhr von der Rutschung erst Anfang Oktober 1913 und konnte nur mehr auf sechsmaligen Besuchen die letzten Bewegungen, gleichsam die Nachwehen des ganzen Prozesses beobachten und kartographisch feststellen. Angesichts der Tatsache, daß wir über reichlicheres Material, betreffend die Bewegungsverhältnisse

[1]) Da der Katarakt durch die steile Neigung der Unterlage (16°) verursacht war, so bildeten sich hier in der fortwährend vorüberfließenden Masse die Spalten immer an derselben Stelle: ähnlich wie bei den Serraks der Gletscher.

von Erdrutschungen überhaupt, in der morphologischen Literatur, besonders in der karpatischen, noch nicht verfügen, habe ich selbst diese lückenhaften Beobachtungen eingehend bearbeitet. Ziffernmäßige Werte für die Abschätzung der Bewegungserscheinung sind aus dem Vergleich der Lage einzelner Linien (Waldgrenze, Wege, Grenzen des Rutschungskörpers) und Punkte (8 durch die Rutschung ergriffene und zerstörte Bauernhütten) vor der Rutschung, wie sie die Katasterkarte verzeichnet, mit ihrer Lage bei meinen verschiedenen Besuchen (4.—5., 13., 20. Oktober, 1.—3., 15. November, 13. Dezember 1913 und 10. April 1914). Einzelne dieser Beobachtungen, welche insgesamt auf der beigeschlossenen Karte verzeichnet sind, gebe ich hier in absoluten und durchschnittlichen Zahlen. Der Weg (resp. die Geschwindigkeit in 24 h in Klammern beigefügt), welchen die einzelnen Objekte zurücklegten, beträgt (Siehe Tab. Seite 325):

Trotz der großen Differenzen im einzelnen beobachten wir eine absolute Wanderung von 100 bis 200 m, eine tägliche Geschwindigkeit bis zu 3 m (im Mittel), die aber unter gewissen Verhältnissen auf 10, selbst 12 m steigen kann. Ferner lassen die obigen Zahlen und die beigefügte Karte folgende Bewegungsgesetze bei Rutschungen des Typus, wie wir ihn oben beschrieben haben, feststellen: 1) Die Geschwindigkeiten der Bewegung wechseln im Querschnitt von den Rändern gegen das Innere des Erdstromes. Infolgedessen krümmen sich gerade Linien, welche den Erdstrom kreuzen, bogenförmig nach unten (wie die Steinreihen auf Gletschern); ja selbst talaufwärts gekrümmte Linien verwandelten sich mit der Zeit in talauswärts gekrümmte Bogen (Waldgrenze im oberen Teile der Szymbarker Rutschung). Bei der Mündung zweier Erdströme bilden sich zuerst zwei selbständige Systeme von „Ogiven", die erst mit der Zeit, nach Überwindung der inneren Reibung an der Stelle der Verschmelzung beider Ströme in ein einheitliches System übergehen. Die maximale absolute Verschiebung, die ich in der Mitte der Rutschung feststellen konnte, beträgt 375 m (Waldgrenze in der Mitte der Stromlänge), 114 m (Gemeindeweg im unteren Viertel der Erdstromlänge) u. s. w. Eine Verbindungslinie der Orte mit maximaler Geschwindigkeit ergibt auf dem Erdstrom einen Stromstrich, der viele Analogien hat mit dem Stromstrich in Flüssen und auf Gletschern: auch der Stromstrich in Erdrutschen verlegt sich bei Krümmung des Talbodens und des Rutschungskör-

	In der Zeit vom Anfang der Rutschung bis 4. X. 1913	vom 4. X. bis 13. X. 1913	vom 13. X. bis 20. X. 1913	vom 20. X. bis 1. XI. 1913	also vom Anfang bis 1. XI. 1913
Gemeindeweg	82 (2·33) m	71 (7·9) m	16 (2·3) m	4 (0·33) m	173 (ca. 2·8) m
Hütte des Hryć Woźniak	202 (5·8) m	?	2 (0·3?) m	2 (0·1?) m	208 (ca. 3·3) m
Hryć Chowaniec	92 (2·7) m	?	0 (0) m	0 (0) m	92 (1·5) m
Michał Radzik	130 (3·7) m	?	0 (0) m	0 (0) m	130 (2·0) m
Marianne Chowaniec	170 (4·9) m	?	0 (0) m	?	170 (3·3) m
A. Łukasik	?	?	8 (1·15) m	9 (0·75) m	17 (0·9) m
Hryć Krok	?	82 (9·1) m	14 (2·0) m	0 (0) m	96 (3·7) m
Sem. Chowaniec	?	70 (7·8) m	24 (3·4) m	0 (0) m	94 (3·7) m
T. Jurczak	56 (?) m	50 (5·5) m	4 (0·5) m	20 (1·7) m	130 (2·6) m
Krautfeld	?	100 (6·25) m		22 (1·8) m	122 (4·3) m
Stirn der Rutschungszunge	?	104 (11·6) m	82 (11·7) m	12 (1·0) m	198 (7·0) m

pers nach der konvexen Seite; dort findet Aufpressung und Stauchung statt, während an der inneren Seite der Krümmung Dilatationserscheinungen zu beobachten sind.

2) Im Längsschnitt des Erdstromes wächst die Geschwindigkeit zweifellos vom unteren Ende gegen die Mitte, höchstwahrscheinlich auch vom oberen Ende gegen Mitte der Rutschung zu. Auf dem unteren Teile liefern meine Beobachtungen unmittelbare Beweise dafür, wenn wir von der Gletscherzunge absehen, welche die maximale Geschwindigkeit in der Mittelachse aufweist, was jedoch auf schon halbflüssige Konsistenz des ganz mit Wasser durchtränkten Materials zurückzuführen ist. So finden wir die Verschiebung der unteren Bauernhütten mit 100—130 m, der

oberen Hütten mit 170—210 m, der Waldgrenze in der Mitte des Erdrutsches mit 370 m. Aber auch gewisse Beobachtungen im obersten Stromgebiet, in der Abrißnische β beweisen untrüglich, daß dort die Ortsveränderung nur 70—100 m betrug. Nur muß hinzugefügt werden, daß lokale Verhältnisse stellenweise auch sehr große Geschwindigkeiten erzeugen können, wie auf den Talstufen, in den Talverengungen, wo der Querschnitt des Erdstromes bedeutend verkleinert wird u. s. w. Auch für diese Erscheinungen liegen zahlreiche Beobachtungen vor.

3) Die Verteilung der Geschwindigkeit in vertikaler Richtung in der Rutschungsmasse konnte nur aus den Fallrichtungen der Bäume erraten werden. Wenn wir aus allen Beobachtungen über die Fallrichtung der Bäume diejenigen ausschalten, die auf gewisse lokale, bekannte Ursachen zurückzuführen sind (Einsenkung und Bodensenkung, Aufpressung von Erdwällen und Falten, Aufstauung der Randwälle etc.), so bleibt uns die allgemeine Beobachtung, daß die Bäume vornüber, d. h. talabwärts geneigt sind. Daraus ergibt sich mit großer Wahrscheinlichkeit folgende Erklärung: die geringere Beweglichkeit der tieferen Schichten hält die tiefen Wurzeln der Bäume noch zurück, während die größere Geschwindigkeit der höheren Schichten der Erdmasse die Stämme der Bäume mit sich reißt. Wir hätten auf eine Zunahme der Geschwingkeit vom Boden des Erdstromes gegen die Oberfläche zu schließen; eine Verminderung der Geschwindigkeit in der Nähe der Oberfläche selbst, wie bei den Flüssen, ist jedoch nicht beobachtet worden und auch gänzlich unwahrscheinlich.

4) Alle Unregelmäßigkeiten in der Verteilung der Geschwindigkeitswerte sind auf die zahlreichen transversalen Bewegungstendenzen zurückzuführen, die am Erdstrom genau so wie am Gletscher unter dem Einfluß der sich ändernden Bodenneigung und der schwankenden Breite des Strombettes entstehen. Diese transversalen Bewegungskomponenten haben sogar einheitliche Bauerngehöfte entzweigerissen und den getrennten Bestandteilen ganz verschiedenartige Wege gewiesen. Nur auf diese Weise erklärt sich auch der Umstand, daß die die Rutschung querenden Wege nicht nur gepreßt und verbogen, sondern auch gezerrt und in Fetzen zerrissen wurden. Für die Erklärung aller hier aufgestellten Bewegungsgesetze kommen, genau so wie bei den Gletschern, vor allem die

innere und die äußere Reibung und weiter der Einfluß des Materials in Betracht.

Schon die Diskussion der Bewegungsverhältnisse der Szymbarker Erdrutschung legt den Vergleich mit glazialen Erscheinungen nahe. Zu diesen, übrigens gelegentlich auch anderwärts schon beobachteten pseudoglazialen Phänomenen gehören weiterhin die zahlreichen Kluftsysteme, die genau so wie auf den Gletschern unterschieden werden können in Klüfte des Sammelbekkens und solche der Zunge. Zu den ersteren sind zu zählen: die periphere Randkluft, die konzentrischen Staffelklüfte, endlich die durch Unregelmäßigkeiten des Bettes hervorgerufenen transversalen und longitudinalen Klüfte. zu den letzteren die schief verlaufenden Randspalten, dann die echten Querspalten, die sich bei Geschwindigkeitsänderungen im Längsschnitt bilden (Serraks u. s. w.), endlich auch gewisse Längsspalten.

Eine weitere Gruppe von pseudoglazialen Erscheinungen stellen die lebhaft an Moränen gemahnenden Randwülste der Szymbarker Erdrutschung dar. Trotz verschiedener Entstehung dieser Bildungen bei Gletschern und Rutschungen weisen sie sowohl in Form wie in petrographischer Ausbildung (Korn und Struktur) manchmal so frappante Ähnlichkeiten auf, daß unter gewissen Umständen selbst eine Verwechslung „franaler“ und glazialer Formen nicht ausgeschlossen ist, nämlich dort, wo z. B. auf Talflanken aufgeschobene Randwülste sich hoch über dem nun entleerten Rutschungsbett befinden. Selbst eine Art „Grundmoräne“ (gekennzeichnet durch Lagerung und Struktur) konnte ich in den tiefsten Spalten des Erdrutsches beobachten, und bei der Vereinigung zweier Rutschungsarme finden sich auch Andeutungen von „Mittelmoränen“. Der Transport fremden Materials auf der Oberfläche eines Erdstromes weist nicht minder gewisse Analogien mit dem glazialen Schutttransporte auf, wenn auch natürlich die Bildung einer „Oberflächenmoräne“ schon aus dem Grunde ausgeschlossen ist, weil Erdrutsche des oben beschriebenen Typus nur in reifen oder ausreifenden Mittelgebirgslandschaften zu treffen sind, die keine Bergstürze und Steinschläge kennen. Es gibt allerdings auch gewichtige Unterschiede zwischen glazialen Moränen und analogen Bildungen bei Erdrutschen, vor allem der Gegensatz des Materials, das in beiden Fällen diese moränenartigen Bildungen trägt und formt: kann doch dieses Material bei Gletschern sich vollständig in

Wasser auflösen und abfließen, während es bei Erdrutschen immer an Ort und Stelle bleibt. Aber es können doch Fälle eintreten, besonders bei sehr stark mit Schutt beladenen kleinen Gletschern oder auch bei Rutschungen, die in verschneiten oder vereisten Gebieten niedergehen, daß eine scharfe Unterscheidung der glazialen und der franalen Formen eine gewisse Übung und Aufmerksamkeit erfordert, deren Unterschätzung schon manchen Glazialforscher zu irrtümlichen Schlüssen auf Grund von pseudoglazialen Erscheinungen geführt hat.

Zu diesen gehört des weiteren noch manche andere Bildung, so die Aufschüttung von „franalen Sandrs", Sand- und Lehmflächen, welche als „fluviofranale" Bildungen durch die den Erdrutschen entströmenden Bäche aufgeschüttet werden. Dann die „franale Exaration", die auch am Szymbarker Erdrutsch an mehreren Stellen gut beobachtet werden konnte, wo der energisch strömende Erdrutsch die Gehänge unterschnitt, sich dadurch eine Art „Trog" schuf und sekundäre Rutschungen verursachte, oder den unteren Teil eines Nebentälchens kappte und so aus dem übrig gebliebenen Talstück ein echtes Hängetal mit Stufenmündung und Mündungsklamm machte; franale Schliffe und Schrammen sowohl im Rutschungsmaterial wie an den Wegen des Strombettes der Rutschung sind an vielen Stellen beobachtet und photographiert worden. Endlich gehören hierher gewisse Erscheinungen einer beginnenden Transfluenz, des Aufstaus der abfließenden Gewässer, überhaupt der Schaffung einer äußerst unregelmäßigen Hydrographie und einer Seenlandschaft. Diese ganze Serie von am Szymbarker Erdrutsch im einzelnen festgestellten franalen Erscheinungen bildet eine Übergangsform zu den nivalen und glazialen Formen und Erscheinungen der mit mächtigen Schuttmassen beladenen Schneelawinen oder kleinen Eisgletscher.

Der Szymbarker Erdrutsch erlitt in der zweiten Hälfte des Novembers 1913 keine fortschreitende Bewegung mehr. Das trockene Wetter des Spätherbstes 1913 beraubte ihn schnell eines großen Teiles seiner Wassermasse und damit kam der Erdrutsch zum Stehen. Die Veränderungen, die an ihm bis zum April 1914 festgestellt werden konnten, führten zu einer Ausreifung und zur langsamen Vernichtung (Vergreisung) der jungen, durch den Rutsch im August 1913 entstandenen Landschaftsformen. Diese Veränderungen umfaßten eine stellenweise Verbreiterung der Rut-

schungsmasse, ein allgemeines Zusammensinken der Oberfläche des Rutschungskörpers, ein Verflachen aller Wände und Stufen durch sekundäre Rutschungen und Abbröckelungsprozesse, ein Schließen der Klüfte, die Zuschüttung der Seen durch Deltas, die Ausbildung einer normalen Hydrographie durch Eintiefung eines Baches auf dem Rutschungskörper, der wieder die Seeabflüße zur Durchschneidung der die Seen abdämmenden Wälle veranlaßte. Das Tempo der Formveränderungen innerhalb dieses franalen Zyklus ist ein sehr rasches, wie dies bei der außerordentlich geringen Widerstandskraft des Rutschungsmaterials gegenüber normaler Erosion und bei der raschen Verdunstung, resp. beim Abfluß des die Rutschungsklüfte und Höhlen füllenden Grundwassers selbstverständlich erscheint.

5) **Die Rutschung bei Muszyna** (Siehe Fig. 1). — Die bedeutend kleinere (Fläche: 1·42 ha, Erdmasse: 15000—20000 m^3) Rutschung bei Muszyna (von 390 m Länge, 36 m mittlerer Breite, 55 m maximaler Breite), die bei km 3·5 der Eisenbahn Muszyna-Krynica niederging, war zum Unterschied von der Szymbarker eine Gehängerutschung, u. zw. eine einarmige, die keine seitlichen Zuflüsse erhielt. Das Gefälle des betreffenden Gehänges weist durchschnittlich 220‰ auf; eine Gefällsstufe ist nur in der Mitte desselben zu verzeichnen (350‰), während das Abrißgebiet sogar ein bedeutend unter dem Mittel geneigtes Gehänge betraf (93‰). Die Rutschung setzte ungefähr am 20.—25. VIII. 1913 ein und blieb in Bewegung bis zum 6. IX. 1913 deutlich erkennbar. Zur Zeit der Aufnahme (6. XII.) war dieselbe schon seit drei Monaten im Stillstand. Im allgemeinen sind die Rutschungserscheinungen hier dieselben wie in Szymbark, natürlich in entsprechend verkleinertem Maßstab (z. B. die Randkluft hat maximal 2·5 m Höhe, der größte von den 11 aufgenommenen Tümpeln hatte nur 8 m Länge und 2 m Breite). Als ein etwas abweichendes Verhältnis wäre nur hervorzuheben, daß vor allem ein großer Teil des rutschenden Terrains auf einem Hochmoor aufsaß, das, wie es scheint, bei einer früheren Rutschung schon mit einer 1—3 m mächtigen Lehm und Sandschichte bedeckt worden war. Das Abrißgebiet lag in hochstämmigem Wald, der, von der Bewegung mitergriffen, vollständig vernichtet wurde. Andererseits hat aber ein anderer Wald, der an das Rutschterrain heranreichte, nicht nur standgehalten, sondern auch Stauchungserscheinungen in Form von 4 m hohen Wällen erzeugt. Auf



Fig. 1.
Die Erdrutschung in Muszyna 1913.
Zeichenerklärungen wie auf Tafel 5.

dem ganzen Muszynaer Rutsch haben die Querspalten ein Übergewicht über die Längsspalten, was Zahl und Größe anbelangt, doch erreicht selbst die größte nur etwa 30 cm Breite und einige Meter Länge. Eine genaue Grenze zwischen dem Abriß- und dem Auftragungsgebiet konnte ich nicht feststellen; die Zunge ist wohl ausgeprägt, aber kurz und endet mit einer sehr hohen Stirn, von der das Erdmaterial in hohen, konzentrischen Staffeln absitzt und dabei die vorliegende, von der Rutschung nicht mehr direkt betroffene Bodenfläche noch schön gefaltet hat (9 Falten hintereinander). Diese Rutschungstatze ist hier schöner ausgebildet als selbst am großen Szymbarker Erdrutsch.

Die kleine Rutschung, die am 18. August 1913 auf dem SE-Hang des Berges Łembarczek bei Wierchomla im Popradtal sich in Bewegung setzte, aber schon nach einer Woche zum Stillstand kam, war eine Gehängerutschung, die ausschließlich im Wald stattfand auf einem 220—250‰ geneigten Hang, der mit graublauem Ton und Lehm bedeckt war. Obwohl die Rutschung nicht tiefer ging als höchstens 5 m, wie man nach den Wällen und Klüften urteilen kann, konnte sie doch durch den hochstämmigen Wald nicht aufgehalten werden und richtete ziemlich bedeutenden Holzschaden an.

6) **Die Rutschung in Grabówka** (Siehe Fig. 2). — Wieder andere Eigentümlichkeiten weist die Rutschung auf, die im mittelgalizischen Hügelland bei Grabówka im Bezirk Brzozów auch im August 1913 niederging und von mir am 2. Mai 1914 aufgenommen wurde. Es war eine typische Hügellandrutschung, denn der Rücken, auf dessen Hang sie entstand, kulminiert mit 397 m. Seine Gehänge sind mit nur 135‰ geneigt und werden ausschließlich von Wiesen und Äckern eingenommen. Die Rutschung, die in ziemlich mächtigem Verwitterungsschutt (aus Tonschiefer, Menilitschiefer und Ton) stattfand, hatte eine weiche, nachgiebige Unterlage aus blaugrauem Ton. Trotz der geringen Neigung des Terrains genügte also die Durchtränkung des Bodens mit Wasser, um die ganze Masse aus dem Gleichgewicht zu bringen; 310 m lang, im Mittel 45 m breit, deckt dieser Erdrutsch eine Fläche von 1·87 ha. Die Abrißnische war hier viel weniger ausgeprägt als bei den übrigen westgalizischen Rutschungen: eine breite, flache Tafel senkte sich und rutschte ein wenig ab, nachdem, gemäß den übereinstimmenden Aussagen der Einwohner, die ersten Bewegungen

von der Mitte des Rutschungsfeldes ausgegangen waren, so daß der obere Abriß nur eine Art Nachsacken darstellt. Überhaupt ist für

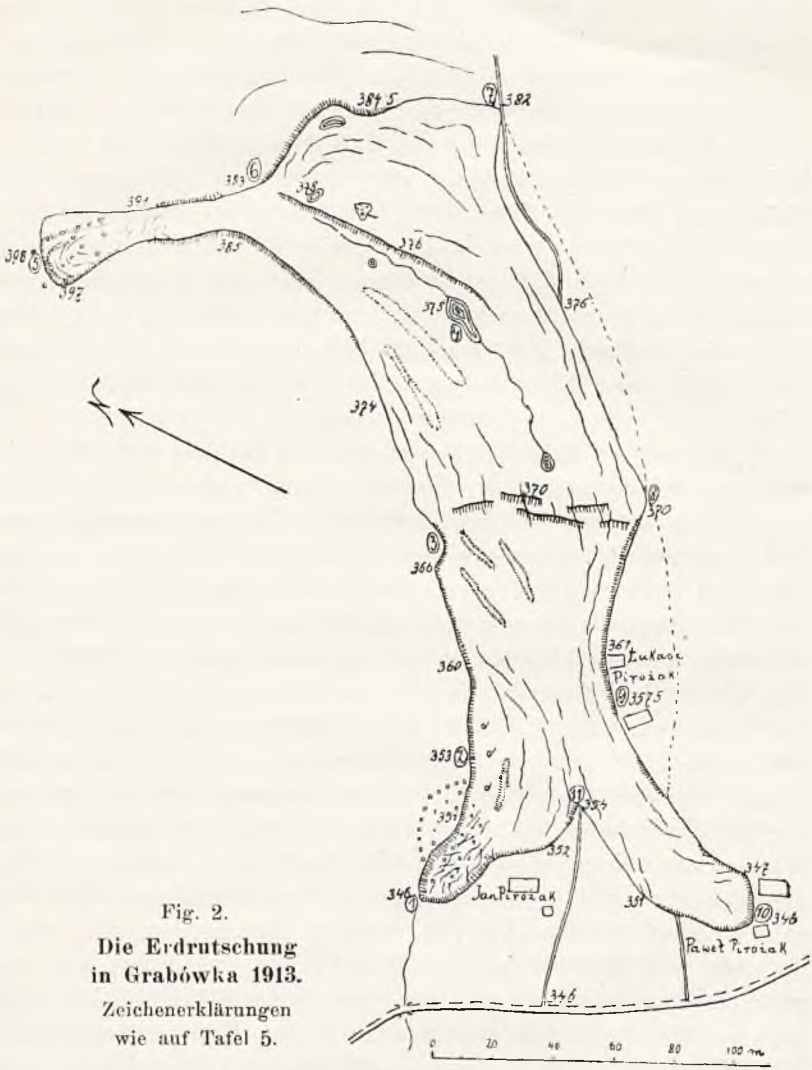


Fig. 2.
Die Erdrutschung in Grabówka 1913.
Zeichenerklärungen wie auf Tafel 5.

den Grabówkaer Rutsch bezeichnend, daß die Horizontalverschiebung der Erdmassen gering war, vielleicht wegen der geringen Neigung des Terrains, vielleicht wegen der relativ großen Breite des Strombettes und der aus diesem Grunde größeren Rei-

bung. Jedenfalls war hier die Veränderung der ursprünglichen Oberfläche recht gering, wie auch im oberen Teile des Erdrutsches nur wenige und kleine Teiche entstanden sind. Nur in der Mitte der Rutschung durchschneiden dieselbe serrakartige Wände und Querklüfte, während im allgemeinen die Längsklüfte vorherrschend sind. Die merkwürdigste Eigentümlichkeit des Grabówkaer Erdrutsches ist aber der Umstand, daß er sich nahe dem unteren Ende in zwei Arme gabelt, die in verschiedene Richtungen abfließen und jeder mit gesonderter Stirn endet. Ursache dieser franalen Bifurkation ist höchstwahrscheinlich eine Prädisposition im morphologischen Bau der nächsten Umgebung. Die beiden Arme dringen übrigens nicht mehr weit vor und enden an recht scharfen, meist wallartig erhöhten Rändern, die allerdings manchmal quer durch die Wirtschaftsgebäude der nachbarlichen Gehöfte gehen.

7) **Allgemeine Schlußfolgerungen und Überblick über die Rutschungen in den Karpaten.** Bodenrutschungen als eine eigenartige, lokale, aber kräftige und beschleunigte Art des allgemeinen Denudationsprozesses erfordern gewisse natürliche Vorbedingungen, vor allem gewisse Neigungsverhältnisse des Terrains. petrographische Zusammensetzung und tektonische Lagerung des Rutschungsmaterials, gewisse klimatische und hydrographische Vorbedingungen, mithin Bedingungen, die sich sowohl in der Zeit als auch im Raum von Ort zu Ort ändern können, so daß sie einerseits sich einem Minimum nähern können, bei dem die inneren und äußeren Widerstände zu groß sind, um es überhaupt zum Einsetzen der Rutschungsbewegung zu bringen, andrerseits sich auch einem Maximum nähern können, bei dem die Rutschung außerordentlich energisch wird und in Sturz übergeht. Diese natürlichen Vorbedingungen selbst erleiden aber mit der Zeit Änderungen, die wieder ihrerseits auf die Bildung von Rutschungen einwirken: die Neigungsverhältnisse ändern sich im Verlaufe des geographischen Zyklus, die Belastung und Durchtränkung der Rutschungsmasse mit Wasser werden durch Klimaschwankungen oder durch Eingriffe des Menschen beeinflußt u. s. w. Wir wollen nun untersuchen, welche Verhältnisse in dieser Beziehung gegenwärtig die polnischen Karpaten für Erdrutschungsprozesse bieten.

Die Landschaften mit allzu schwachen und allzu kräftigen Neigungsverhältnissen sind den Rutschungsprozessen

abhold, ebenso wie die Landschaften, die aus durchlässigem und schwer verwitterbarem Material aufgebaut sind. Während langsame Kriechprozesse sich überall in den Karpaten nachweisen lassen, sind die kräftigeren Rutschungen an noch nicht ganz senile Landschaften gebunden. Auf dem wohlausgereiften karpatischen Hügelland kommen trotz der mächtigen Verwitterungsdecke nur kleinere Rutschungen vor und diese nur auf den Gehängen von Verjüngungsformen. Gehängerutschungen kann man hier noch beobachten, Talbodenrutschungen wohl höchst selten. Im Beskiden-Gebirge dagegen, mit seinen zahlreichen Verjüngungsformen, die in verschiedenen Erosionszyklen entstanden sind, gehören die Rutschungen zu den gewöhnlichsten Erscheinungen und nehmen nicht selten katastrophale Dimensionen an. Gehänge- und Talbodenrutschungen, die in Quellkesseln ihren Anfang nehmen, sind hier in gleicher Weise vertreten. Die im Beskiden-Gebirge noch kräftig arbeitende Erosion schafft immer neue Angriffspunkte für Rutschungsbewegungen. Selten werden dieselben aber in den zentralen Karpaten bekannt, soweit diese reife Landschaftsformen besitzen. In der Klippenzone mit dem durchlässigen und sehr widerstandsfähigen Material, wo die Rutschungen nur an die Klippenhülle geknüpft sind, endlich in den zentralen Kerngebirgen der Karpaten, für die wohl Bergstürze, aber nicht Erdrutschungen bezeichnend sind wegen der steilen Neigungen, der schweren Verwitterbarkeit der Gesteine und der damit zusammenhängenden dünnen Verwitterungsschuttdecke, in diesen Landschaften bleiben häufigere Erdrutschungen nur auf die sedimentären Randzonen beschränkt, da diese vielfach verwitterbare Gesteine und schwächere Neigungsverhältnisse aufweisen.

Wie schon erwähnt, beeinflußt auch die Verbreitung leicht verwitterbarer und eine mächtige Schuttdecke bildender Gesteine die Verteilung der Rutschungen in den Karpaten. Diese Gesteine sind vor allem: 1) im karpatischen Hügelland die kretazischen Teschener, Wernsdorfer und teilweise auch die Ellgother Schichten, die senonen oder paläogenen Fukoidenmergel, die Ropiankaschiefer, die Tone der Dobrotower Schichten und der Mediterranablagerungen; 2) in der Beskidenzone das Istebnaer Neokom, Fukoidenmergel, eozäne Buntschiefer, die Menilitschiefer und die Tonschiefer des Magura-Sandsteins, im Klippengebirge die Murchisonschiefer u. a. m.; in den eigentlichen Klippen

die roten und grünen Schiefer und Fukoidenmergel der Klippenhülle, endlich in den Kerngebirgen die roten Perm- und Werfener Schiefer, die grünen und dunklen Schiefer der Keuper-, Rhät- und Grestener Schichten. Die Karte die Verteilung der Erdrutsche in den Karpaten würde neben den Neigungsverhältnissen der landschaftlichen Oberfläche die Verbreitung dieser Schichten klar zum Ausdruck bringen. Die tektonischen Verhältnisse des karpatischen Falten-, Schuppen- und Kerngebirges beeinflussen durch Begünstigung der Verwitterung und der Abrutschung von Erdmassen entlang von Schicht- und Bruchflächen die Verbreitung der Rutschungen in der Weise, daß isoklinale Täler eine auffallende Asymmetrie der Rutschungen, synklinale etwas zahlreichere, dagegen antiklinale seltenere Rutschungen aufweisen; ebenso wie Quertäler eher zu Rutschungen neigen als Längstäler. Doch scheint der Einfluß der tektonischen Vorbedingungen in den Karpaten gegenüber den anderen Umständen eine geringe Rolle zu spielen.

Von den klimatischen Erscheinungen in den Karpaten ist der Einfluß der abnorm niedrigen Temperaturen im Winter in den höheren Gebirgen auf die Bildung einer dicken Verwitterungsrinde, der abnorm hohen Sommertemperaturen auf die Austrockung und Berstung der Lehmmassen, welche die Träger der Rutschungen sind, hervorzuheben. Wichtiger sind jedoch die Niederschläge, welche die Rutschungen beeinflussen, sei es unmittelbar durch Belastung des zur Rutschung prädisponierten Materials,[3] sei es mittelbar durch Durchtränkung des Terrains mit Grundwasser und Quellen, die aus der Schneedecke ihre Wasser entnehmen und sie bei der großen Feuchtigkeit der Luft nur schwer durch Verdunstung verlieren. Daher der Zusammenhang der Niederschlagskurve und der Häufigkeitskurve der Rutschungen in den Karpaten. Letztere weist zwei Maxima auf, ein Frühjahrs-Maximum, das mit der Schneeschmelze im Zusammenhang steht und sich aus zahlreichen, aber kleineren Rutschungen zusammensetzt, die bald nach dem Beginn der Schneeschmelze niedergehen, und einem herbstlichen Maximum, das mit den maximalen Niederschlägen des Sommers zusammenhängt, aus seltenen, aber dafür größeren Rutschungen besteht, die den Niederschlägen meist um einige Wochen nachhinken.

Die Seismizität der Karpaten dürfte im allgemeinen zu schwach sein, um einen merklichen Einfluß auf die Rutschungen

auszuüben. Der äußere Flyschgebirgsbogen weist, soweit bekannt, fast nur mikroseismische Störungen, die hier nicht in Betracht kommen können; das innere Kern- und Beckengebirge ist allerdings häufig der Schauplatz makroseismischer Störungen, doch wissen wir noch nicht, ob dieselben jemals Erdrutschungen in Bewegung gesetzt haben. Im Gegensatz hiezu sind eine außerordentliche häufige Ursache der karpatischen Erdrutschungen künstliche Eingriffe des Menschen in die Natur, sei es durch Belastung gefährdeter Hänge mit Gebäuden oder Straßenbauten, sei es durch Unterschneidung derselben und Beraubung der Verwitterungsrinde der für sie nötigen Stütze, sei es endlich durch künstliche Vergrößerung der Neigungsverhältnisse zu Rutschungen prädisponierter Abhänge. Dabei wirkt die menschliche Hand ähnlich der fluviatilen Erosion: nur der Schauplatz dieser Rutschungen ist verschieden. Während die anthropischen Rutschungen am häufigsten in den dicht bewohnten Gegenden vorkommen, also im Hügelland und in den Beckenlandschaften, sind die durch natürliche Unterschneidung hervorgerufenen Rutschungen mehr auf die schwach besiedelte, aber jugendlich geformte Berglandschaft mit intensiver fluviatiler Erosion beschränkt. Endlich hat eine eingehende Analyse des Einflusses des Waldes sowie der Entwaldung der Karpaten auf die Bildung der Rutschungen (durch den chemisch mechanischen und klimatischen Einfluß auf den Verwitterungsvorgang sowie durch das mechanische Festhalten der Verwitterungsrinde) zu demselben Ergebnis geführt, das schon Almagià für die den Karpaten so analogen und von Rutschungen furchtbar heimgesuchten Apenninen festgestellt hat: daß nämlich der Wald im allgemeinen nicht imstande ist, die Rutschungen aufzuhalten, daß er nur die Rutschungsbewegung sanfter macht und daß endlich die Waldrodungen wohl häufige, aber nur kleine und seichte Rutschungen verursachen können.

Wir wollen nun in Anlehnung an das jüngste Einteilungssystem der Rutschungen, das Almagià auf Grund von ausgedehnten Studien in einem den Karpaten höchst verwandten Flyschgebirge gewonnen hat, die territoriale Verbreitung einzelner Rutschungstypen in den Karpaten besprechen. Echte Bergstürze (*frane per rotolio* und *per crollo*) kommen in den Karpaten eigentlich nur im zentralen und im Klippengebirge vor; in ganz kleinem Ausmaß allerdings kann man Bergstürze des ersteren Typus fest-

stellen an den Kanzeln aus Magura-, Ciężkowicer- und Jamnasandstein auf den hohen Beskidenrücken, solche des zweiten (des Unterschneidungs-) Typus auch an der Grenze harter und besonders weicher Gesteinsschichten, z. B. an den weichen Miozänbildungen der subkarpatischen Landstufe. Das Gros der Karpatenrutschungen bilden die „*frane per cedimento*“ und die „*frane per scivolamento*“. Speziell zum ersten Typus gehören alle Rutschungen, die wir in Westgalizien beobachtet und oben genauer beschrieben haben: sie treten in zwei Abarten als Gehänge und Talbodenrutschungen auf, die in Form und Bewegung ein wenig voneinander abweichen. Die „*frane per scivolamento*“ sind schon viel seltener, da sie eine in den Karpaten selten realisierte tektonische Prädisposition verlangen, und sind mir vorläufig nur von den sedimentären Gürteln an der Außenseite der Kerngebirge bekannt. Auch der letzte von Almagià unterschiedene Typus, die „*lama*“ (Lehmfluß), welche in dem pliozänen Außengürtel der Apenninen eine so große Rolle spielen, sind in den karpatischen Landschaften eine Seltenheit und erreichen nie große Dimensionen.

Nicht gering anzuschlagen ist der Einfluß der Rutschungen auf das karpatische Landschaftsbild: schaffen sie doch im reifen Landschaftsbild jugendliche Formen, im Mittelgebirge kleine Hochgebirgsformen. Mit ihren vielfachen Wandbildungen, Wällen und Nischen, der unregelmäßigen Hydrographie und ähnlichen Erscheinungen stellen sie landschaftliche Anomalien dar, die allerdings einer raschen Vernichtung anheimfallen. Gewaltig sind auch die Wirkungen, welche die karpatischen Franen auf das Pflanzenkleid ausüben: die in demselben geschlagenen Wunden heilen allerdings mit der Zeit, wenn auch durchaus nicht rasch. Denn die der fruchtbaren Humusdecke beraubten Teile der Erdrutschung müssen erst wieder eine frische bilden, die anfänglich nur von hydrophilen Pflanzenarten besiedelt wird. Erst nachdem eine künstliche oder natürliche Drainage dem Boden sein Übermaß an Feuchtigkeit genommen hat, kann die ursprüngliche tropophile, resp. xerophile Vegetation wieder Platz greifen. In Gegenden aber (wie sie in den Karpaten so häufig vorkommen), wo an derselben Stelle regelmäßig von Zeit zu Zeit Rutschungen niedergehen, erleiden sowohl das Pflanzenkleid wie die menschliche Wirtschaft gewaltige Schäden.

Nun vermögen allerdings die Rutschungsprozesse der Ent-

wicklungstendenz des Landschaftsbildes in den Karpaten keine neue Richtung zu geben. Sie beschleunigen und verkürzen nur als intensiver Denudationsprozeß den morphologischen Zyklus. Wenn das karpatische Landschaftsbild besonders in den Flyschgebirgen trotz nachgewiesenermaßen ganz jugendlicher Krustenbewegungen heute schon wieder den Eindruck einer wohl ausgereiften, selbst greisenhaften Landschaft macht, so ist dafür nicht nur die fluviatile Abspülung und Erosion, sondern in viel höherem Grade, als man bisher erkannte und zugab, die franale Denudation verantwortlich zu machen; sie fördert in wenigen Wochen mehr Material zu Tal als Flüsse in Monaten und Jahren. In gleichem Maße, wie der morphologische Zyklus dem Ende zustrebt, werden die Franen kleiner und seltener, bis sie gänzlich aufhören. Eine quantitative Schätzung des, wie wir sehen, nicht geringfügigen Einflusses der karpatischen Rutschungen auf das Landschaftsbild des Gebirges (sowie auch der nicht zu unterschätzenden Bedeutung derselben für die bio- und anthropogeographischen Verhältnisse) erfordert jedoch noch neben morphologischen eingehende statistische, volkswirtschaftliche und historische Studien, auf Grund deren wir erst viele noch ungelöste Probleme der Physiographie und Anthropogeographie der Karpaten werden enträtseln können.



↖ ↗ Fallrichtung der Baumstämme.

× Lage der Ruinen zerstörter Bauerngehöfte.

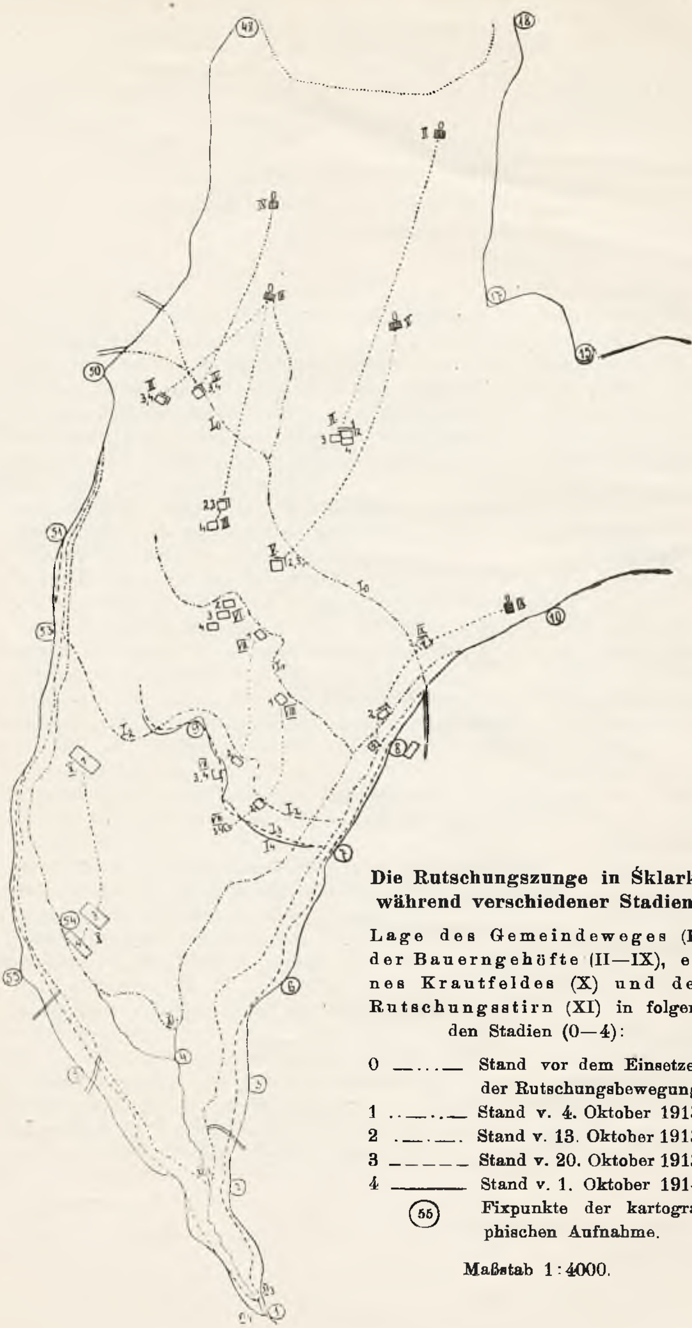
Wege.

(50) Orientierungspunkte der kartographischen Aufnahme.

555 Höhenkoten.



Maßstab 1 : 6000.



Die Rutschungszunge in Śklarki während verschiedener Stadien.

Lage des Gemeindeweges (I), der Bauerngehöfte (II—IX), eines Krautfeldes (X) und der Rutschungsstirn (XI) in folgenden Stadien (0—4):

0 —..— Stand vor dem Einsetzen der Rutschungsbewegung.
1 ..—..— Stand v. 4. Oktober 1913.
2 .—.—. Stand v. 13. Oktober 1913.
3 — — — Stand v. 20. Oktober 1913.
4 ——— Stand v. 1. Oktober 1914.
(55) Fixpunkte der kartographischen Aufnahme.

Maßstab 1:4000.

L. Sawicki.

BULLETIN INTERNATIONAL
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE
CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES.
SÉRIE *A*: SCIENCES MATHÉMATIQUES.
DERNIERS MÉMOIRES PARUS.

(Les titres des Mémoires sont donnés en abrégé).

Avis.

Le «*Bulletin International*» de l'Académie des Sciences de Cracovie (Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles) paraît en deux séries: la première (*A*) est consacrée aux travaux sur les Mathématiques, l'Astronomie, la Physique, la Chimie, la Minéralogie, la Géologie etc. La seconde série (*B*) contient les travaux qui se rapportent aux Sciences Biologiques. Les abonnements sont annuels et partent de janvier. Prix pour un an (dix numéros): Série *A* ... 8 K; Série *B* ... 10 K.

Les livraisons du «*Bulletin International*» se vendent aussi séparément.

Adresser les demandes à la Librairie «G. Gebethner & Cie»
Rynek Gł., Cracovie (Autriche).